

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

POTENCIAL ENERGÉTICO DE CLONES DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* NA REGIÃO NORTE DE MATO GROSSO

ADRIANO JOEL SATTLER

Sinop, Mato Grosso

Julho, 2014

ADRIANO JOEL SATTLER

POTENCIAL ENERGÉTICO DE CLONES DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* NA REGIÃO NORTE DE MATO GROSSO

Orientadora

Prof.^a Dra. Patrícia Aparecida Rigatto Castelo

Dissertação apresentada ao
PPGCAM como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Ciências Ambientais

Sinop, Mato Grosso

Julho, 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S253p Sattler, Adriano Joel.
Potencial energético de clones de *Eucalyptus urophylla* x
Eucalyptus grandis na região Norte de Mato Grosso / Adriano Joel
Sattler. -- 2014
ix, 26 f. ; 30 cm.

Orientadora: Patrícia Aparecida Rigatto Castelo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Eucalipto. 2. produtividade. 3. energia. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
 CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
 Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais - ICNHS
 Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCAM



**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DA DEFESA DO CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS
 AMBIENTAIS**

DISCENTE: Adriano Joel Sattler

Aos 04 dias do mês de julho do ano de 2014, às 13:30 horas, na sala 10 do Bloco 01, do *campus* da UFMT na cidade de Sinop, foi realizada a sessão pública de Defesa do Curso de Mestrado em Ciências Ambientais do discente Adriano Joel Sattler. A banca foi composta pelos seguintes professores: Profa. Dra. (orientadora) Patrícia Aparecida Rigatto Castelo, Profa. Dra. Tatiana Paula Marques Arruda, Prof. Dr. Diego Martins Stangerlin e Profa. Dra. Roberta Martins Nogueira, sob a presidência da primeira. O projeto de pesquisa teve como título: Potencial energético de clones de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* aos 48 meses de idade na região de Sinop, Mato Grosso. Após explanação do projeto de pesquisa, o discente foi arguido pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros avaliaram o discente e conferiram ao mesmo o seguinte resultado N1: 8,5, N2: 9,0, N3: 8,0, N4: 8,2, sendo o Conceito Final: 8,4 proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo discente. As recomendações da banca seguem em folha anexa.

Sinop, 04 de julho de 2014.

ASSINATURAS:

Discente:

Adriano Joel Sattler

Banca:

Patrícia Ap. Rigatto Castelo

Tatiana Paula Marques de Arruda

Diego Martins Stangerlin

Sinopse:

Estudou-se o potencial energético de sete clones de *Eucalyptus* no município de Sinop, região Norte de Mato Grosso.

Aspectos como volume, massa específica básica, massa seca, poder calorífico superior, densidade energética, produção energética, teor de extrativos, lignina e holocelulose foram avaliados.

Palavras-Chave:

Eucalipto, produtividade, energia.

Dedicatória

Dedico esta dissertação a meu pai, Adelar Sattler (*in memoriam*)

Agradecimentos

A minha família, em especial a Graciela Decian Zanon, Carolina Zanon Duarte, Celíria Sattler e Daniela Sattler.

A minha orientadora, professora Patrícia Aparecida Rigatto Castelo pela orientação e compreensão no momentos difíceis.

Aos professores e pesquisadores Cláudio Vieira de Araújo, Diego Martins Stangerlin, Dirceu Lúcio Carneiro de Miranda, Evaldo Martins Pires, Hélio Tonini, Rafael Soares de Arruda e Roberta Martins Nogueira, Tatiana Paula Marques de Arruda.

A Solange Maria Bonaldo e Marliton Rocha Barreto pela dedicação na coordenação do curso.

Ao Sr. Jaldes Langer proprietário da empresa Flora Sinop

Aos técnicos de laboratório e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais em especial a Liliane Stédile de Matos.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a concretização desse trabalho.

RESUMO

As florestas energéticas do gênero *Eucalyptus* são uma grande fonte de matéria prima para a produção de energia através da lenha ou para produção de carvão vegetal, com grandes vantagens ambientais, principalmente por se tratar de uma fonte de energia renovável. Diante da importância desta fonte de energia, neste trabalho objetivou-se avaliar o potencial energético de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 48 meses de idade no município de Sinop, região Norte de Mato Grosso, com o intuito de identificar clones recomendados para a implantação de florestas energéticas. O estudo foi realizado em um experimento com delineamento inteiramente casualizado, com a avaliação de sete clones em quatro repetições, contendo 49 árvores por parcela, no espaçamento de 3,6 m x 2,5 m. Foi mensurado a altura e o DAP (diâmetro a altura do peito a 1,3 m do solo), e abatida uma árvore com DAP médio por parcela, num total de 28, em cada árvore abatida foram retirados discos com 5 cm de espessura na altura do DAP, 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, fracionados em quatro partes iguais na forma de cunhas para realização dos procedimentos em laboratório. Verificou-se elevada produtividade, com valor médio para o incremento médio anual de 68,08 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, de 31,37 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para massa seca, 4587,98 Kcal.Kg⁻¹ para poder calorífico superior, 602,75 GJ.ha⁻¹.ano⁻¹ para produção energética, não havendo diferença significativa entre os clones. Foi verificada diferença estatística para lignina com valor médio de 26,40%, para extrativos 6,90%, holocelulose 66,70%, densidade energética 2,11 Gcal.m⁻³ e massa específica básica 460,92 Kg.m⁻³. Todos os sete materiais genéticos podem ser utilizados para implantação de florestas energéticas, objetivando a produção de lenha, por apresentarem alta produtividade e elevada produção energética, e visando a produção de carvão vegetal destaca-se o clone F1C219 por apresentar maior teor de lignina.

ABSTRACT

The energetic forests of *Eucalyptus* gender are a great source of raw material for the production of energy by using firewood or for the production of charcoal, with tremendous environmental advantages, since it is a of renewable energy source. Being this source of energy of utmost importance, the present study has aimed to evaluate the energetic potential of clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* at their 48 month old in the city of Sinop, in the north of the State of Mato Grosso, targeting to identify clones which are recommended for energetic forests. The study was carried out in an experimental randomized complete block designs, with the evaluation of seven clones in four repetitions, containing 49 trees per plot, spacing 3,6 m x 2,5 m. Was measured the height and the DBH (diameter at breast height at 1,3 m high) and one tree harvested with average DBH per plot, totaling 28, disks of the 5 cm thick were removed from each harvested tree at the height ratio of DBH, 0, 25, 50, 70 and 100% of commercial height, divided into four equal parts wedged shaped to carry out the procedures in the laboratory. We have verified high productivity, with annual average value for the medial increment of 68,08 m³.ha⁻¹.year⁻¹, from 31,37 t.ha⁻¹.year⁻¹ to dry mass, 4587,98 Kcal.kg⁻¹ to superior calorific power, 602,75 GJ.ha⁻¹.year⁻¹ for the energy production, with no relevant difference among the clones. A statistic difference for the lignin was verified with average value of 26,40%, for extractive 6,90%, holocellulose 66,70%, energetic density 2,11 Gcal.m⁻³ and basic specific mass 460,92 Kg.m⁻³. All the seven genetic materials can be used for the energetic forest implementation, aiming the production of firewood, once it presents a high productivity and elevated energetic production, furthermore, with a higher content of lignin, clone F1C219 has highlighted.

SUMÁRIO

Resumo	vii
Abstract.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1 Área de Estudo	11
2.2 Estudo Preliminar.....	12
2.3 Preparo das Amostras	12
2.4 Poder Calorífico Superior e Composição Química da Madeira.....	13
2.5 Massa Específica Básica	13
2.6 Incremento Médio Anual, Densidade Energética e Estimativas de Massa Seca e Produção Energética	13
2.7 Análise Estatística.....	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4. CONCLUSÕES	20
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
6. ANEXO A - NORMAS PARA PUBLICAÇÃO REVISTA CIÊNCIA FLORESTAL	24

1 INTRODUÇÃO

A escassez de matéria-prima aliada ao aumento de consumo, somado à política de reposição florestal na Amazônia brasileira, tem provocado maior interesse de algumas empresas em investir na formação de florestas com espécies de rápido crescimento (SILVA et al., 2009), o que além de desempenhar um papel importante no aproveitamento de áreas já desmatadas, diminui a pressão exercida sobre as florestas nativas (SOARES et al., 2003).

As restrições impostas à utilização de madeiras de espécies nativas, devido a sua exploração indiscriminada e insustentável, aliada as crescentes medidas de conservação das espécies contribuíram para o êxito do gênero *Eucalyptus* no setor florestal brasileiro. Desde então, a busca por produtividade e qualidade das plantações de eucalipto têm sido objeto de inúmeras pesquisas, direcionadas para o melhoramento genético e clonagem (SETTE JUNIOR, 2010).

O eucalipto oferece diversas vantagens em comparação a outras espécies florestais, inclusive as nativas, com prazo curto para colheita e produtividade acima de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ além da sua importância econômica, pois seu plantio e beneficiamento têm participação importante no desenvolvimento de grande parte dos setores da economia nas regiões onde é plantado (BAESSO et al., 2010).

A utilização da biomassa como insumo energético é uma tendência mundial, devido a necessidade de redução na utilização de derivados de fontes fósseis (MULLER et al., 2005), e em 2010, a oferta de energia de fontes renováveis na matriz energética mundial foi de 10%, já no Brasil no ano de 2012 esse valor foi de 42,4%, onde a lenha e o carvão vegetal representam 9,1% do total (EPE, 2013).

A produção de lenha e carvão vegetal originários da extração vegetal de florestas nativas recuaram 8,7% e 14,2%, respectivamente em 2012, em comparação a 2011. Nesse mesmo período, os mesmos produtos, originários de florestas plantadas, aumentaram sua produção em 9,7% e 23,5%, respectivamente, o que representa um número 1,38 e 3,05 vezes maior que o produzido oriundo das florestas nativas (IBGE, 2012).

O Estado de Mato Grosso possui grande potencial para implantação de florestas energéticas. A área plantada de eucalipto em 2013 foi de 187.090,14 hectares, representando um aumento 271% em relação a 2007. Esse crescimento em produção de lenha se deve principalmente pela busca de alternativas para geração de biomassa sustentável e de baixo

custo em relação à lenha de madeira nativa, utilizada principalmente na secagem de grãos, frigoríficos e indústrias de cerâmica FAMATO (2013).

A partir do ano 2000, tem-se verificado um crescimento do uso da biomassa florestal para a geração de energia (FURTADO et al., 2012), e para sua utilização é importante levar em consideração as características físicas e químicas do material, pois elas podem influenciar fortemente no rendimento e na manutenção dos equipamentos, principalmente nos que realizam processos de combustão (SOUZA et al., 2012).

A utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se, entre outros, no conhecimento do seu poder calorífico e no seu potencial para produção de biomassa (VALE et al., 2000).

Na aplicação da madeira para fins energéticos, as características como a massa específica, massa seca, poder calorífico superior e a constituição química exercem grande influência no potencial produtivo e energético da mesma, assim contribuindo para a seleção de clones destinados a produção de energia (SANTANA, 2009).

Neste contexto, no presente estudo teve-se como objetivo avaliar o potencial energético de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 48 meses de idade no município de Sinop, região Norte de Mato Grosso.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área do Estudo

O estudo foi realizado na área de uma empresa de produção de mudas no município de Sinop, Estado de Mato Grosso, coordenadas geográficas 11°51'59,9" S, 55°27'58,7" W, com clima do tipo Aw, segundo Köppen, e o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, onde está instalado um dos experimentos da Associação dos Reflorestadores de Mato Grosso, implantado em janeiro de 2009 que compreende o plantio de 21 materiais genéticos do gênero *Eucalyptus*, com quatro repetições, onde cada parcela é composta por 49 árvores com espaçamento de 3,6 m x 2,5 m, compreendendo 9 m² por árvore, 441 m² por parcela e área total do experimento de 3,70 hectares, disposto em delineamento inteiramente casualizado.

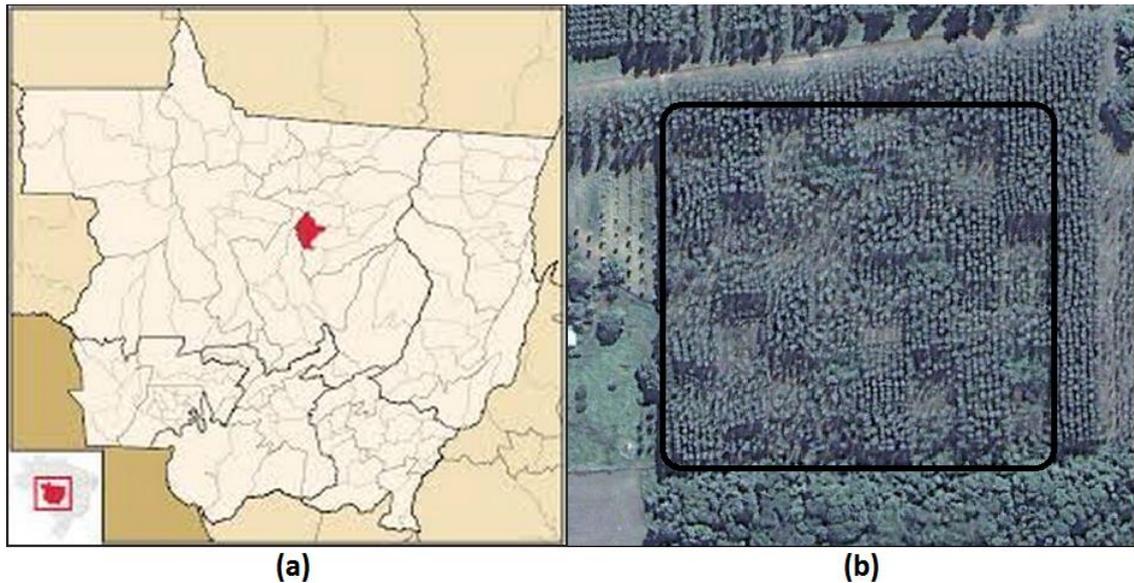


Figura 1 - Mapa de localização do município de Sinop (a) e imagem de satélite da área experimental (b)

Figure 1 - Map of the city of Sinop, satellite image of the experimental area (b)

Na área experimental foi realizada a calagem com utilização de 2 toneladas de calcário e incorporação, aplicação de herbicida pré-emergente para folha larga e estreita, subsolagem com aplicação de 500 kg/ha de fosfato em filete contínuo na profundidade de 50 cm na linha do plantio, 60 dias após o plantio foi realizada adubação com 100 g/planta de NPK 20:00:20 + 1% Boro, em outubro de 2009 e 2010 foi aplicado 200 g/planta de adubo Kcl + 1% Boro.

2.2 Estudo preliminar

Primeiramente foi realizado inventário dos 21 materiais genéticos, com idade de 48 meses, a partir da medição do DAP (diâmetro a altura do peito a 1,3 m do solo) e a altura total das 25 árvores do interior da parcela, sendo desconsiderada a bordadura simples. Foi atribuído o fator de forma das árvores de 0,5 conforme ROCHA et al., 2007 e VILAS BÔAS et al., 2009, calculado os volumes e após a avaliação das medições foram definidos os sete materiais genéticos com maior produtividade para o desenvolvimento do estudo.

2.3 Preparo das Amostras

As árvores foram selecionadas de forma visual, considerando aspectos como tronco cilíndrico e a baixa incidência de galhos, além dos aspectos visuais os indivíduos também foram selecionados com base no DAP, que deveria ser próximo ao diâmetro médio das

árvores da parcela. De cada material genético selecionado foram abatidas quatro árvores, sendo uma em cada parcela, totalizando 28 árvores.

Das árvores abatidas foram retirados discos, com 5 cm de espessura, na altura do DAP e a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore, considerando diâmetro mínimo de 7 cm. Posteriormente, os discos foram fracionados em quatro partes iguais na forma de cunhas, onde uma cunha foi utilizada na análise química e poder calorífico, duas na determinação da massa específica básica e a quarta foi armazenada como contraprova.

2.4 Poder Calorífico Superior e Composição Química da Madeira

No preparo das amostras para as determinações foi utilizada uma cunha de cada disco nas seis posições da árvore, cortadas em palitos, constituindo uma amostra composta para cada árvore, triturada, transformando-a em serragem e classificadas em peneiras, obtendo-se a fração que passou pela peneira de malha 40 mesh e ficou retida na malha de 60 mesh.

O poder calorífico superior foi determinado através de bomba calorimétrica, seguindo os detalhamentos estabelecidos na norma D-2015 da ASTM - American Society for Testing and Materials (ASTM 1966) em duplicata, na determinação de extrativos totais seguiram-se os padrões da M3/69 (Associação Brasileira de Celulose e Papel – ABCP, 1969), o teor de lignina foi determinado conforme a M10/71 (Associação Brasileira de Celulose e Papel – ABCP, 1971), ambas em triplicata, e o teor de holocelulose foi determinado por diferença.

2.5 Massa Específica Básica

Para a determinação da massa específica básica foi utilizado o método da balança hidrostática, baseado no princípio de Arquimedes, sendo utilizado duas cunhas diametralmente opostas de cada posição da árvore, as quais foram submersas em água até atingirem a saturação, determinado o volume, secas em estufa com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem a massa constante em condição anidra, obtendo-se a massa completamente seca, calculado a massa específica básica para cada posição, e posteriormente a média ponderada para cada árvore.

2.6 Incremento Médio Anual, Densidade Energética e Estimativas de Massa Seca e Produção Energética

De cada uma das árvores selecionadas e abatidas foi realizado cubagem rigorosa através do método de Smalian, determinado o fator de forma pela razão entre o volume real e

o volume do cilindro com o diâmetro na altura do DAP, posteriormente calculado os volumes de cada parcela e extrapolados por hectare, e determinado o incremento médio anual.

A densidade energética foi obtida em função da massa específica básica e poder calorífico superior, a massa seca foi resultado do produto do incremento médio anual e da massa específica básica e a produção energética foi determinada pela multiplicação da massa seca e poder calorífico superior.-

2.7 Análise Estatística

As variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA), realizado teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos entre si a 5% de significância e para verificar a correlação entre as variáveis foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson a 5 % de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios para o fator de forma calculado, utilizado para determinação dos volumes, bem como o incremento médio anual, massa específica básica e massa seca são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios para fator de forma (FF), incremento médio anual (IMA), massa específica básica (ME) e massa seca (MS) para os clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Table 1 - Mean values of form factor (FF), average annual increment (IMA), basic specific mass (ME) and dry mass (MS) for the clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Clone	FF	IMA m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹	ME kg.m ⁻³	MS t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
105	0,49 a	72,00 a	473,71 ab	34,24 a
F1H13	0,51 a	70,39 a	465,40 abc	32,70 a
F1C219	0,50 a	64,83 a	498,15 a	32,29 a
F11	0,50 a	66,48 a	472,55 ab	31,40 a
I144	0,51 a	68,63 a	441,86 bc	30,33 a
H13	0,51 a	66,93 a	440,95 bc	29,50 a
I042	0,52 a	67,34 a	433,81 c	29,16 a
Média	0,50	68,08	460,92	31,37
CV %	3,43	9,60	3,26	10,39

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Não houve diferença significativa no incremento médio anual entre os clones, onde a produtividade encontrada no presente estudo é considerada alta comparando com Moraes (2006) e Santos et al. (2012) que estudando clones de *Eucalyptus* com 4 e 6 anos em Minas Gerais encontraram incremento médio anual variando de 40 e 44,51 m³.ha⁻¹.ano⁻¹.

No entanto os valores encontrados neste trabalho estão de acordo com o esperado por Cortez et al. (2008) que afirma que com melhoramento genético, produção de híbridos e clonagem, a produtividade pode chegar entre 60 a 80 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, e próximos aos citados por Fonseca et al. (2013) em teste clonal realizado em Juiz de Fora e Ubá, Minas Gerais aos 5 e 6 anos obteve incremento médio anual de até 90,9 e 82,3 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, e valores médios de 63 e 64,6 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente.

Além da qualidade dos materiais genéticos estudados, outro fator que influenciou na alta produtividade foi o manejo adotado, pois de acordo com Berger et al. (2002) a utilização de clones para a formação de florestas foi um dos avanços que possibilitou maior produção e melhoria da qualidade e homogeneização da matéria, porém, a adoção de técnicas de implantação e manejo visando à obtenção de povoamentos regulares e produtivos continua indispensável, quando se trata de obter plantios com fins industriais.

Diferenças foram observadas entre a massa específica básica dos materiais genéticos estudados, onde o clone F1H13 obteve massa específica básica igual a todos, o F1C219 foi superior aos clones I144, H13 e I042 e igual aos demais, os materiais 105 e F11 foram superiores apenas ao I042, já os clones I144 e H13 foram inferiores ao F1C219 e iguais ao demais.

Os resultados para a massa específica básica (tabela 1) são próximos aos obtidos por Alzate et al. (2005): 460 kg.m⁻³, 470 kg.m⁻³, 490 kg.m⁻³, Lima et al. (2011): 475 kg.m⁻³ e Rocha (2011): 510 kg.m⁻³ em seus estudos nos Estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais respectivamente, para clones de *Eucalyptus sp.*

Os clones que apresentaram maior massa específica básica são recomendados para produção de lenha e carvão vegetal, segundo Santos et al. (2011) quanto maior a massa específica da madeira, maior a massa de carvão vegetal produzido para um determinado volume, proporcionando carvão com maior resistência mecânica.

A massa seca não apresentou diferença entre os clones, o valor médio de 31,37 t.ha⁻¹.ano⁻¹ encontrado nesse trabalho são superiores aos encontrado por Santana (2009), Santos

(2010), Rocha (2011) e Santos et al. (2012), que estudando clones de *Eucalyptus* no Estado de Minas Gerais com idade de 48 a 84 meses obtiveram valores que variam de 15,27 a 26,9 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

A superioridade dos valores encontrados em relação à literatura está relacionada com a alta produtividade dos clones estudados, e segundo Rocha (2011) fica evidente a importância da produtividade volumétrica e da massa específica básica, sobre a produção de massa seca de madeira, visto que essa variável é função direta desses dois parâmetros.

Na tabela 2 encontram-se os valores médios para poder calorífico superior, densidade energética e produção energética, onde o poder calorífico superior não apresentou diferenças, não ocorrendo influência da variação da massa específica básica, fato semelhante ao obtido por Santos et al. (2012), neste caso ficou evidente que o valor do poder calorífico foi característica genética da espécie, não variando entre os clones.

Tabela 2 - Valores médios para poder calorífico superior (PCS), densidade energética (DE) e produção energética (PE) para os clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Table 2 - Mean values of superior calorific power (PCS), energetic density (DE) and energetic production (PE) for the clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Clone	PCS Kcal.Kg ⁻¹	DE Gcal.m ⁻³	PE GJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
105	4595,63 a	2,18 ab	658,58 a
F1H13	4579,63 a	2,13 abc	627,43 a
F1C219	4571,88 a	2,28 a	618,01 a
F11	4603,75 a	2,17 ab	605,32 a
I144	4605,50 a	2,04 bc	584,76 a
H13	4608,00 a	2,03 bc	569,25 a
I042	4551,50 a	1,98 c	555,93 a
Média	4587,98	2,11	602,75
CV %	0,80	3,40	10,54

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O valor médio do poder calorífico superior obtido neste trabalho está próximo aos encontrados por Vale et al. (2000) que foi 4619 Kcal.Kg⁻¹, Quirino et al. (2005) que encontraram 4695 Kcal.Kg⁻¹, Brand (2007) obteve 4462 Kcal.Kg⁻¹ a 4748 Kcal.Kg⁻¹, Castro (2011) que foi de 4633 Kcal.Kg⁻¹, 4660 Kcal.Kg⁻¹ e 4542 Kcal.Kg⁻¹ e Santos et al. (2012) obtiveram valores médios de e 4496 Kcal.Kg⁻¹.

A densidade energética apresentou as diferenças estatísticas iguais à massa específica básica, sendo justificada pelo fato da mesma ser função da massa específica básica e do poder calorífico superior, e como este apresentou pouca variação, não afetou a variação da densidade energética.

A densidade energética é uma variável que retrata bem a potencialidade energética de determinada madeira visto que não é considerada a produtividade volumétrica da espécie, apenas a massa específica básica e o poder calorífico superior.

Neste contexto o valor médio de $2,11 \text{ Gcal.m}^{-3}$ obtido para a densidade energética neste trabalho, está próximo ao estudo de Lima et al. (2011) que foi de $2,22 \text{ Gcal.m}^{-3}$ para *Eucalyptus benthamii* aos 6 anos e ao de Neves et al. (2013) que variou de 1,963 a 2,150 Gcal.m^{-3} para *Eucalyptus spp* na idade de 55 e 67 meses.

Os valores encontrados para a produção energética não se diferenciaram estatisticamente, e foram superiores ao encontrados por Santos (2010) que variaram de 401 a 517,24 $\text{GJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e aos de Rocha (2011) que aos 48 meses obteve 294,61 $\text{GJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a Santos et al. (2012) que variou de 287,83 a 440,74 $\text{GJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Essa superioridade em relação à literatura citada é atribuída à massa seca, pois o valor médio dessa variável no presente trabalho foi 16,53% maior que a massa seca do clone que apresentou a energia estocada de 517,24 $\text{GJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no estudo de Santos (2010) com *E. urophylla* x *E. grandis* aos 7 anos, que foi 16,62% menor que o valor médio da produção energética do presente estudo.

Essa tendência também foi encontrada por Vale et al. (2000) que ao estudarem a produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* encontraram uma superioridade do eucalipto de 2,4 vezes em relação a acácia na energia, superioridade essa relacionada, principalmente, à maior produção de massa seca verificada para a primeira espécie, uma vez que a diferença de poder calorífico superior foi insignificante.

Na figura 2 são apresentados os valores médios para teor de lignina, teor de extrativos totais e teor de holocelulose, bem como teste de médias.

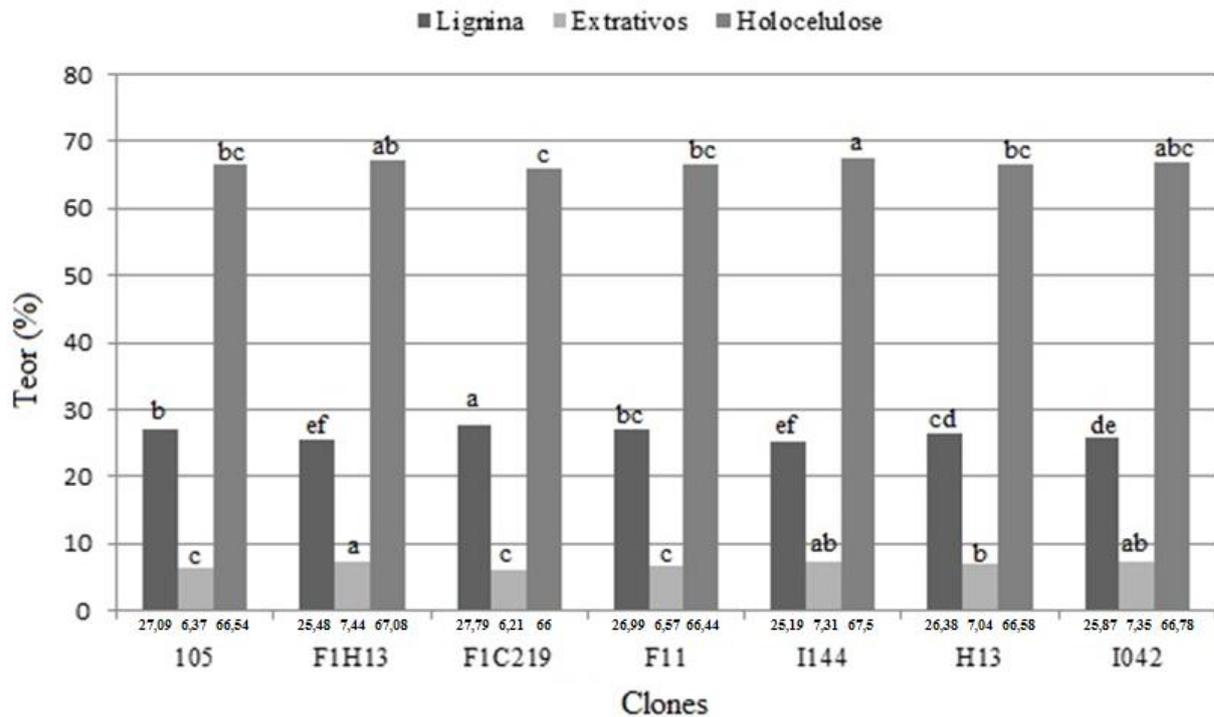


Figura 2 - Valores médios para teor de lignina, teor de extrativos totais e teor de holocelulose para os clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Figure 2 - Mean values of lignin, extractives and holocellulose for the clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De acordo com Santos (2010) dentre os fatores mais importantes na escolha de material genético para produção de carvão vegetal está o teor de lignina elevado, fato esse observado no clone F1C219 que apresentou o maior teor de lignina, e em contrapartida obteve os menores valores para os teores de extrativos e holocelulose, característica essa desejada para a madeira, pois de acordo com Frederico (2009) a madeira ideal dever possuir uma composição química adequada, com maior teor de lignina associado a um menor teor de holocelulose.

Os valores médios para a composição química da madeira foram de 26,40% para lignina, 6,90% para extrativos e 66,70% para holocelulose, estando próximos ao encontrados por Santana (2009) que obteve para *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos quatro anos valores de 28,20%, 3,27% e 68,13% e Oliveira et al. (2010) encontraram valores de 29,5%, 4,53 e 65,97% para *Eucalyptus pellita* aos cinco anos de idade.

São apresentados os Coeficientes de Correlação de Pearson para as variáveis analisadas na tabela 3, onde é possível verificar correlação positiva e significativa entre as seguintes variáveis: incremento médio anual com a massa seca e a produção energética; a massa específica básica com a massa seca, densidade energética e produção energética; a massa seca com a densidade energética e a produção energética; e a densidade energética com a produção energética.

Tabela 3 - Coeficientes de Correlação de Pearson e significância associada ao coeficiente, entre parênteses, das características avaliadas para os clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Table 3 - Pearson correlation coefficients and associated significance coefficient in parentheses, the characteristics evaluated for the clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

	IMA	ME	MS	PCS	DE	PE	LIG	EXT	HOLO
IMA									
ME	-0,04493 (0,8204)								
MS	0,85448 (<0,0001)	0,47836 (0,01)							
PCS	0,21121 (0,2806)	-0,00712 (0,9713)	0,16915 (0,3895)						
DE	-0,01124 (0,9547)	0,98895 (<0,0001)	0,50006 (0,0067)	0,13945 (0,4791)					
PE	0,85756 (<0,0001)	0,46993 (0,0116)	0,99725 (<0,0001)	0,24139 (0,2159)	0,50233 (0,0064)				
LIG	-0,13567 (0,4912)	0,64187 (0,0002)	0,216 (0,216)	0,0504 (0,799)	0,63976 (0,0002)	0,21557 (0,2706)			
EXT	0,04168 (0,8332)	-0,6283 (0,0003)	-0,29383 (0,1291)	-0,0603 (0,7605)	-0,62878 (0,0003)	-0,29329 (0,1298)	-0,8635 (<0,0001)		
HOLO	0,18902 (0,3354)	-0,50409 (0,0062)	-0,09507 (0,6303)	-0,02966 (0,8809)	-0,50013 (0,0067)	-0,09483 (0,6312)	-0,88975 (<0,0001)	0,53809 (0,0031)	

Onde: IMA: incremento médio anual, ME: massa específica básica, MS: massa seca, PCS: poder calorífico superior, DE: densidade energética, PE: produção energética, LIG: teor de lignina, EXT: teor de extrativos, HOLO: teor de holocelulose.

Essas correlações são previsíveis, visto que a produção energética é função linear do incremento médio anual, massa específica básica, massa seca e densidade energética, correlações essas também encontradas por Lima et al (2011).

O aumento do teor de lignina resulta em uma diminuição dos teores de holocelulose e extrativos, e estes se correlacionam positivamente entre si, uma vez que a soma dos teores equivale a 100%, logo a variação de um deles resulta na alteração dos demais.

A massa específica básica e a densidade energética apresentaram correlação positiva com o teor de lignina e correlação negativa com o teor de extrativos e de holocelulose, onde as madeiras mais densas apresentaram maior teor de lignina. Vale et al. (2010) estudando cinco espécies nativas do cerrado também encontraram correlação positiva da massa específica básica com o teor de lignina.

4 CONCLUSÕES

Todos os sete materiais genéticos podem ser utilizados para implantação de florestas energéticas, objetivando a produção de lenha, por apresentarem alta produtividade e elevada produção energética, e visando a produção de carvão vegetal destaca-se o clone F1C219 por apresentar maior teor de lignina.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (ABCP). **Prep. de madeira livre de extrativos**, ABCP M3/69. São Paulo, 1969. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (ABCP). **Lignina na madeira**, ABCP M10/71. São Paulo, 1971b. 2 p.

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. E *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.68, p.87-95, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2015-66**, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 1966.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Ciência Florestal**, v.20, n.2, p.335-344, 2010.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p. 5-87, 2002.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 148p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus sp.* Na madeira e carvão vegetal**. 2011. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. 2008. 736p. Editora da Unicamp, Campinas, SP, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético brasileiro 2013**, ano base 2012, 288 p. Rio de Janeiro, RJ, 2013. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em 04 Jun. 2014.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO (FAMATO). **Diagnóstico de Florestas Plantadas do Estado de Mato Grosso**, 106 p. Cuiabá, MT, 2013. Disponível em <http://www.imea.com.br/upload/Relatorio_final_floresta_plantada.pdf>. Acesso em 04 Jun. 2014.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

FONECA, S. M.; ALFENAS, A. C.; ALFENAS, R. F.; BARROS, N.F.; LEITE, F. P.; BARROS FILHO, N. F. **Cultura de eucalipto em terras montanhosas**. Editora UFV, v.2 63 p. Viçosa, MG, 2013.

FURTADO, T. S.; FERREIRA, J. C.; BRAND, M. A.; NEVES, D. M. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p.577-582, 2012.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. v. 27, 63 p. Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_\[anual\]/2012/pevs2012.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_[anual]/2012/pevs2012.pdf)>. Acesso em 04 jun. 2014.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 31, n. 65, p. 9-17, 2011.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais.** 2006. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L. C.; LEITE, H. G.; BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa e Energia**, v.2, n.3, p.177-186, 2005.

NEVES, A.N.; PROTASIO, T. P.; VALE, M. L. C.; SOUZA, L. C.; VIEIRA, C. M. M. Qualidade da madeira de clone de *Eucalyptus* em diferentes idades para produção de bioenergia. **Revista Ciências Agrárias**. V. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

ROCHA, M. F. V.; **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia.** 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando Reml/Blup e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.977-987, 2007.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético.** 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.971-980, 2012.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** 2010. 159p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de

qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SETTE JUNIOR, C. R. **Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010. 151 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba SP, 2010.

SILVA, V. S. M.; SOARES, T. S.; COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; HOSOKAWA, R. T.; SCOLFORO, J. R. S. Prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh pela aplicação da função de distribuição Sb de Johnson. **Revista Árvore**, v.33, n.5, p.853-863, 2009.

SOARES, T. S.; SILVA, M. L.; GAMA, J. R. V.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE, R. S. Avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, v.27, n.4, p.481-486, 2003.

SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, v.42, n.2, p.325-334, 2012.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S. AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira** n.89, p.100-106, 2005.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v.6, n.1, p.083-088, 2000.

VILAS BOÂS, O.; MAX, J. C. M.; MELO, A. C. G. Crescimento comparativo de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no município de Marília, SP. **Revista do Instituto Florestal**, v.21, n.1, p. 63-72, 2009.

6 ANEXO A - NORMAS PARA PUBLICAÇÃO REVISTA CIÊNCIA FLORESTAL

DIRETRIZES PARA AUTORES

1. A revista CIÊNCIA FLORESTAL publica artigos técnico-científicos inéditos, resultantes de pesquisa de interesse da área florestal. Também são aceitas notas técnicas e artigos de revisão. Os textos podem ser redigidos em português, inglês ou espanhol.

2. Para submeter um trabalho para publicação são cobrados os seguintes valores:

§1 Taxa de submissão: R\$50,00 (cinquenta reais). O pagamento dessa taxa não garante a publicação do trabalho.

§2 Taxa de publicação: R\$250,00 (duzentos e cinquenta reais). Esse valor deve ser recolhido somente após o aceite do trabalho.

Os valores devem ser depositados na conta corrente n. 220611-0, da agência do Banco do Brasil n. 1484-2. O comprovante do depósito da taxa de submissão deverá ser enviado juntamente com o trabalho. O comprovante da taxa de publicação deverá ser enviado a CIÊNCIA FLORESTAL, por fax (55-3220.8444/22) ou e-mail (cienciaflorestal@ufsm.br), informando o nome do trabalho ao qual se refere o depósito. Os valores depositados não serão devolvidos.

3. Os manuscritos devem ser encaminhados à revista via online por meio da PLATAFORMA SEER. O autor que cadastra o artigo assume a responsabilidade pelas informações, que os demais autores estão de acordo com submissão e que o artigo é inédito. Os conceitos e afirmações emitidas no artigo são de exclusiva responsabilidade dos autores. Contudo, o Conselho Editorial reserva-se o direito de solicitar ou sugerir modificações no texto original.

4. Os artigos devem ser organizados na seguinte sequência:

4.1. Artigo científico e nota técnica: Título, Resumo, Introdução com Revisão de Literatura, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões, Agradecimentos e Referências Bibliográficas. Antes do item Referências Bibliográficas, quando apropriado, mencionar a aprovação pela Comissão de Ética e Biossegurança da Instituição.

4.2. Artigo de revisão bibliográfica: Título, Resumo, Introdução, Desenvolvimento, Considerações finais, Agradecimentos e Referências Bibliográficas.

5. O manuscrito deve ser editado no Microsoft Word, com espaço simples, linhas numeradas continuamente e sem os nomes dos autores, fonte Times New Roman, tamanho 11, tabulação de 1,25 cm, formato A4, com 2 cm de margens esquerda, inferior e superior, e 1,5 cm de margem direita, orientação retrato e máximo de 12 páginas.

6. O Título do manuscrito, com no máximo duas linhas, deve ser centralizado e em negrito, com letras maiúsculas, redigido em português ou espanhol, seguido da versão em inglês.

7. O Resumo deve ser apresentado em um único parágrafo e redigido em dois idiomas, sendo um deles o inglês. As palavras RESUMO e ABSTRACT devem ser redigidos em letras maiúsculas e centralizados.

8. Logo após o texto do Resumo e do Abstract devem ser incluídos os termos Palavras-chave e Keywords, respectivamente, com alinhamento à esquerda, contendo até quatro termos, separados por ponto e vírgula.

9. Os grandes itens devem ser escritos em letras maiúsculas, alinhados à esquerda. Os demais itens devem obedecer à seqüência exemplificada a seguir:

MATERIAL E MÉTODO - (item primário) - todo em maiúsculas e negrito.

Caracterização do local - (item secundário) - só a inicial maiúscula e em negrito.

Solo - (item terciário) - só a inicial maiúscula, em negrito e itálico.

Horizonte A - (item quaternário) - só a inicial maiúscula, em itálico.

10. As siglas e abreviaturas, ao aparecerem pela primeira vez no trabalho, deverão ser colocadas entre parênteses, precedidas do nome por extenso.

11. Figuras (gráficos e fotografias), com resolução mínima de 300dpi, devem ser em preto-e-branco, sem-sombreamento e contorno. As dimensões (largura e altura) não podem ser maiores que 17 cm, sempre com orientação da página na forma retrato (fonte: Times New Roman, tamanho da fonte: 11, não-negrito e não-itálico).

12. As figuras e tabelas devem ser auto-explicativas e alocadas no texto logo após sua primeira chamada. A identificação das mesmas deve ser expressa em dois idiomas, sendo um deles o inglês. As tabelas devem ser produzidas em editor de texto (Word) e não podem ser

inseridas no texto como figuras. Para tabelas com conteúdo numérico, as vírgulas devem ficar alinhadas verticalmente e os números centralizados na coluna.

13. Nomes científicos devem ser escritos por extenso (Ex: *Araucaria angustifolia*) e em itálico.

14. Fórmulas editadas pelo módulo Equation Editor, do Microsoft Word, devem obedecer à fonte do texto, com símbolos, subscrito/sobrescrito etc., em proporções adequadas.

15. Citações bibliográficas serão feitas de acordo com a NBR 10520 da ABNT, usando o sistema "autor-data". Todas as citações mencionadas no texto devem ser relacionadas na lista de Referências Bibliográficas, de acordo com a norma NBR 6023 da ABNT.

16. Na versão final do artigo o autor deve inserir os nomes dos co-autores, posicionados logo abaixo do título em inglês, e identificados com número sequencial sobrescrito. O chamamento dos autores deve ser indicado no rodapé da primeira página, antecedido do número de identificação.

17. Os manuscritos submetidos à revista passam pela triagem inicial do comitê de área, são enviados para revisores **ad hoc**, devolvidos aos autores para correções e, posteriormente, passam pela avaliação final do Conselho Editorial. Os artigos aceitos são publicados preferencialmente na ordem de aprovação e os não-aceitos são comunicados aos autores. Não são fornecidas separatas. Os artigos estão disponíveis, no formato "pdf", no endereço eletrônico da revista (www.ufsm.br/cienciaflorestal).

18. Em caso de dúvidas, consultar os artigos já publicados ou o Conselho Editorial no e-mail cienciaflorestal@ufsm.br.